

PENGARUH DAYA RF SPUTTERING DAN WAKTU DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN TIPIS SnO_2 YANG TERBENTUK SEBAGAI BAHAN SENSOR GAS

Sayono, Agus Santoso, Yunanto
P3TM - BATAN

ABSTRAK

PENGARUH DAYA RF SPUTTERING DAN WAKTU DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN TIPIS SnO_2 SEBAGAI BAHAN SENSOR GAS. Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh daya RF sputtering dan waktu deposisi terhadap karakteristik bahan lapisan tipis SnO_2 yang meliputi : suhu operasi, sensitivitas, waktu tanggap, struktur kristal, morfologi dan komposisi kimia lapisan tipis. Proses deposisi dilakukan dengan RF Sputtering. Variasi daya dimulai dari 160, 170, 180 dan 190 W dan variasi waktu dimulai dari 25, 30 dan 35 menit dengan menggunakan tegangan elektroda 750 V. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa lapisan tipis SnO_2 yang terdeposisi mampu mendeteksi gas $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, NH_3 , CO dan HNO_3 pada suhu operasi 300°C . Bahan tersebut memiliki sensitivitas dan waktu tanggap paling optimal dicapai oleh sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit berturut turut senilai 88,64 % dan 1 sekon. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa bahan yang terdeposisi berstruktur tetragonal dengan orientasi (110), (101) dan (211) dengan parameter kisi $a = 4,65 \text{ \AA}$ dan $c = 3,12 \text{ \AA}$. Analisis menggunakan SEM-EDS menunjukkan bahwa makin besar daya yang digunakan, lapisan tipis SnO_2 makin homogen morfologi permukaannya. Perbandingan persentase unsur Sn dan O pada lapisan tipis sebesar 1 : 2,48.

Kata kunci : Lapisan tipis SnO_2 , Sensor gas, Sensitivitas dan Waktu Tanggap

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF THE RF SPUTTERING POWER AND DEPOSITION TIME TO THE CHARACTERISTICS OF SnO_2 THIN FILMS AS GAS SENSOR MATERIAL. It has been done, the research about the influence of power and deposition time on the SnO_2 thin film produced by RF sputtering to the characteristics of SnO_2 thin film, such as operational temperature, sensitivity, response time, crystal structure, morphology, and its chemical compositions. The power variation were 160, 170, 180 and 190 watt, and the time variation were 25, 30 and 35 minutes with self bias voltage 750 volt. It was found that the thin film deposited were able to detect $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, NH_3 , CO and HNO_3 gas at 300°C . It was found that optimum sensitivity was (88.64 %) and response time was (1 second). This condition was achieved at power 180 W and deposition time 30 minutes. XRD analysis shows that the crystal structure of film was tetragonal with crystal orientation (110), (101) and (211), the cell parameters are $a = 4,65 \text{ \AA}$ and $c = 3,12 \text{ \AA}$. SEM-EDS analysis showed that the higher power, the SnO_2 thin film more homogenous. Sn and O atom ratio was 1 : 2,48.

Key words : SnO_2 thin film, Gas sensor, Sensitivity and Response time

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat mendukung kesadaran manusia terhadap bahaya yang berasal dari gas, terutama terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Efek samping kemajuan teknologi menghasilkan polutan diantaranya berupa gas-gas yang berbahaya. Untuk mengimbangi hal tersebut dituntut untuk membuat perangkat sensor yang dapat menggantikan fungsi hidung (indera manusia) yang memiliki keterbatasan pada kondisi-kondisi tertentu. Perangkat tersebut harus sensitif terhadap ragam gas.

Penemuan bahan semikonduktor menjadikan perkembangan teknologi elektronika menjadi pesat. Diantaranya adalah aplikasi teknologi lapisan tipis sebagai bahan sensor gas. Sensor gas dari bahan semikonduktor oksida logam adalah salah satu yang dikembangkan.

Perkembangan bidang ini begitu cepat, khususnya pada pembuatan sensor gas yang dapat diandalkan dalam hal sensitivitas, waktu tanggap, selektivitas, stabilitas (daya tahan), maupun ekonominya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan semikonduktor oksida logam seperti TiO_2 ,

ZnO₂, dan SnO₂ mampu mendeteksi kehadiran gas O₂, CO dan jenis gas hidrokarbon^[1].

Ada berbagai cara deposisi lapisan tipis pada saat ini, antara lain adalah teknik *CVD* (*Chemical Vapor Deposition*), *MOCVD* (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*), *Sputtering*, *Spray pyrolysis*, maupun *Ion plating*. Pada umumnya masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Diantara teknik-teknik deposisi lapisan tipis tersebut di atas, teknik *Sputtering* mempunyai beberapa kelebihan, yaitu (1) lapisan yang terbentuk dapat memiliki komposisi yang serupa dengan bahan taraget, (2) kualitas, struktur dan keseragaman hasil lapisan dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, (3) mempunyai fluk yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, (4) lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat^[2].

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan lapisan tipis dari bahan SnO₂ dengan teknik RF sputtering. Adapun parameter proses *sputtering* yang divariasi adalah daya dan waktu, hal ini dilakukan untuk memperoleh parameter proses yang tepat/kondisi optimun sehingga diperoleh lapisan tipis SnO₂ yang dapat digunakan sebagai bahan sensor gas dengan mempunyai sensitivitas tinggi.

Untuk mengetahui keberhasilan dari pembuatan lapisan tipis SnO₂ dengan DC *sputtering*, maka dilakukan karakterisasi yang meliputi : penentuan suhu sensor sensitivitas/kepekaan tangap terhadap gas : C₂H₅OH, CO, HNO₃ dan NH₃, kemudian dilakukan analisa struktur kristal, strukturmikro permukaan dan analisa komposisi unsur.

Penelitian ini dilakukan dengan maksud dan tujuan untuk memperoleh pengetahuan dan penguasaan teknologi pembuatan lapisan tipis SnO₂ sebagai bahan sensor gas dengan metode DC *sputtering*. Sedang manfaatnya adalah ini dapat diperoleh suatu bahan baru yang dapat digunakan untuk pembuatan sensor gas.

DASAR TEORI

Sputtering adalah proses penembakan dengan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi kepada sebuah target sehingga atom-atom individu target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang tersputter dari permukaan bahan yang ditembak ion (biasanya disebut target) terhambur kesegala arah (teori transfer momentum),

kemudian ada yang menempel pada substrat membentuk lapisan tipis. Transfer momentum terjadi pada saat atom-atom permukaan target teremisi ketika momen kinetik partikel yang datang ditransfer ke atom-atom permukaan target pada tumbukan beruntun^[2].

Sputtering dalam lucutan RF (*radio frequency*) diamati oleh Robertson dan Clopp pada tahun 1933. Mereka mendapatkan bahwa permukaan kaca dari tabung lucutan tersputter selama proses lucutan RF. Pada tahun 1960, *Sputtering* dalam lucutan RF telah digunakan untuk deposisi lapisan tipis dielektrik. Pada saat ini sistem RF *Sputtering* memegang peranan penting dalam deposisi lapisan tipis^[2].

Generator dalam RF *Sputtering* bekerja pada frekuensi radio dan merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dengan sistem osilator. Osilator adalah rangkaian elektronik guna membangkitkan getaran listrik. Pengatur frekuensi terdiri dari induktor (L) dan kapasitor (C). Mungkin C atau L-nya yang divariasi, supaya frekuensinya dapat divariasi. Selanjutnya sistem osilator tersebut dihubungkan pada sebuah penguat (amplifier), sehingga dapat digunakan sebagai generator (pembangkit) pada proses deposisi lapisan tipis dengan metode *Sputtering*.

Sistem RF *Sputtering* ini menggunakan osilator radio frekuensi (yang umumnya digunakan adalah 13,56 MHz). Oleh karena itu plasma yang terbentuk selain berasal dari proses di atas juga akibat ionisasi dengan penyerapan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari osilator radio frekuensi. Penyerapan gelombang elektromagnetik ini menyebabkan terjadinya transisi tingkat-tingkat energi atom.

Gas argon yang terionisasi akan dipercepat oleh medan listrik, akibatnya akan menumbuk atom-atom gas yang belum terionisasi sehingga menghasilkan elektron-elektron dan ion-ion positif. Elektron-elektron sekunder yang dipercepat akan bertumbukan lagi dengan atom-atom gas lain dan menyebabkan ionisasi lagi. Ion-ion positif dalam plasma akan tertarik ke katoda dan akan menembaki permukaan target. Apabila energi ion-ion positif sangat tinggi maka atom-atom target akan terlepas ke segala arah dan sebagian diantaranya menuju ke substrat membentuk *thin film*. Sebagian atom-atom tersebut akan mendifusi atom-atom permukaan menuju tempat kosong^[2].

Teknik Pendeposisian

Sputtering ditimbulkan oleh interaksi partikel-partikel yang datang dengan atom-atom

pada permukaan target. Laju pemindahan atom-atom permukaan yang diakibatkan oleh penembakan ion atau jumlah atom rata-rata yang dipindahkan dari permukaan suatu bahan padat per ion yang datang disebut *Sputtering (SputterYield) (S)* [2].

$$S = \frac{\Sigma \text{atom - atom yang dipindahkan}}{\Sigma \text{ion - ion yang datang}} \quad (1)$$

Hasil *Sputtering* akan dipengaruhi oleh energi partikel datang, sudut datang partikel pada permukaan target, material target, dan struktur kristal dari permukaan target.

Pada dasarnya ion memiliki ukuran yang sama dengan atom, sehingga ketika ion menumbuk permukaan maka proses ini merupakan proses tumbukan antar atom datang dengan atom permukaan. Pendeposisian akan terjadi bila berlangsung perpindahan energi yang cukup antar ion penumbuk dan atom permukaan. Besarnya energi yang dipindahkan selama proses tumbukan berlangsung adalah sebagai berikut [3]

$$E_t = \frac{4 M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} E_1 \quad (2)$$

dengan E_t adalah energi partikel penumbuk, E_1 adalah energi yang dipindahkan, dan M_1, M_2 adalah massa-massa partikel yang bertumbukan.

Tenaga yang dipindahkan ini digunakan untuk melepaskan atom-atom bahan target serta sisanya merupakan tenaga kinetik atom terpental untuk menuju ke substrat, artinya berlangsung proses deposisi di atas substrat.

Banyaknya bahan yang tersputter per satuan luas katoda adalah [4].

$$W_o = \frac{j_+ S t A}{e N_A} \quad (3)$$

dengan j_+ adalah rapat arus ion pada katoda, e adalah muatan elektron, S adalah hasil *sputtering*, A adalah berat atom dari bahan target, t adalah waktu *sputter* dan N adalah bilangan Avogadro.

Sensitivitas

Sensitivitas serapan gas merupakan perubahan resistansi akibat terserapnya gas pada permukaan elemen sensitif. Nilai nisbah serapan sensitivitas serapan gas didefinisikan sebagai perbandingan antara besar perubahan resistansi elemen sensitif pada saat diberi gas dengan resistansi elemen sensitif pada udara normal.

Sensitivitas semikonduktor untuk gas reduktor dirumuskan [5]:

$$S = \frac{\Delta R_g}{R_n} \times 100\% = \frac{R_g - R_n}{R_n} \times 100\% \quad (4)$$

dan untuk gas oksidator dirumuskan :

$$S = \frac{\Delta R_g}{R_n} \times 100\% = \frac{R_n - R_g}{R_n} \times 100\% \quad (5)$$

R_g dan R_n diukur pada kondisi isothermal, dengan R_g adalah resistansi pada saat diberi gas (reduktor dan oksidator), R_n adalah resistansi pada udara normal.

Gejala sensitivitas yang timbul dalam bahan semikonduktor oksida akan dikaitkan dengan perubahan konduktivitas akibat adanya serapan gas pada permukaan semikonduktor. Sensitivitas yang timbul oleh perubahan konduktivitas akibat serapan gas ditentukan oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internalnya adalah struktur mikro yang meliputi ukuran butir, ketebalan lapisan tipis, kondisi daerah antar butir (*intergranular*) serta struktur *bulk* (padatan) dan permukaan. Faktor eksternal adalah suhu dan konsentrasi gas uji.

CARA PENELITIAN

Persiapan Target dan Substrat

Target dalam penelitian ini ialah bubuk SnO_2 dengan kemurnian 99%. Target ini dibuat dari adonan bubuk SnO_2 dengan dicampur dengan alkohol, kemudian dicetak menjadi pelet dengan cara ditekan (dipres dalam cetakan) dengan beban 200 kN dan tekanan dipertahankan selama 5-10 menit. Target yang didapatkan adalah silinder dengan diameter 60 mm dan tebal 3 mm. Selanjutnya target dianil dalam oven dengan suhu sampai 900 °C selama 3 jam. Target yang sudah siap direkatkan dengan lem perak pada elektroda (katoda) dan didiamkan selama minimal 12 jam agar merekat kuat.

Substrat pada penelitian ini berupa kaca preparat yang telah dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 0,6 cm. kemudian substrat dibersihkan dengan aquades dan alkohol. *Ultrasonik cleaner* dan akhirnya dikeringkan dalam oven pada suhu sampai 100 °C selama 1 jam untuk kemudian dibungkus dengan kertas tissue dan disimpan dalam plastik klip.

Pendeposisian Lapisan Tipis

Pendeposisian lapisan tipis ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut, Memasang substrat kaca pada anoda dan target SnO₂ pada bagian katoda kemudian reaktor plasma ditutup. Kemudian tabung sputtering dihampakan hingga mencapai tekanan $1,5 \times 10^{-2}$ mbar, selanjutnya 3 (tiga) sistem air pendingin masing-masing untuk pompa turbo, generator RF dan target dialirkan. Setelah tekanan mencapai $\pm 8 \times 10^{-6}$ mbar. Proses deposisi dimulai dengan mengatur aliran gas Argon hingga tekanan operasi yang dikehendaki dalam orde 1×10^{-1} mbar sampai 3×10^{-2} mbar.

Tegangan tinggi RF dinyalakan dan diatur sampai timbul plasma (terjadi proses *discharge*) yang terlihat pada jendela reaktor plasma, saat inilah deposisi dimulai. Sebelum dinyalakan, ditentukan dulu daya dan tegangan *self bias* yang dipakai. Adapun parameter yang perlu dicatat selama proses deposisi antara lain: daya, tekanan/flow gas dan waktu deposisi. Variasi dayanya adalah 160, 170, 180 dan 190 W sedangkan variasi waktu deposisi adalah 25, 30 dan 35 menit. Setelah pendeposisian selesai, pada ujung substrat dibuat kontak perak.

Karakterisasi Sensor Gas

Pengujian lapisan tipis meliputi penentuan suhu operasi bahan sensor, sensitivitas, waktu tanggap, struktur kristal, tebal lapisan SnO₂ yang terbentuk, struktur morfologi dan komposisi kimia.

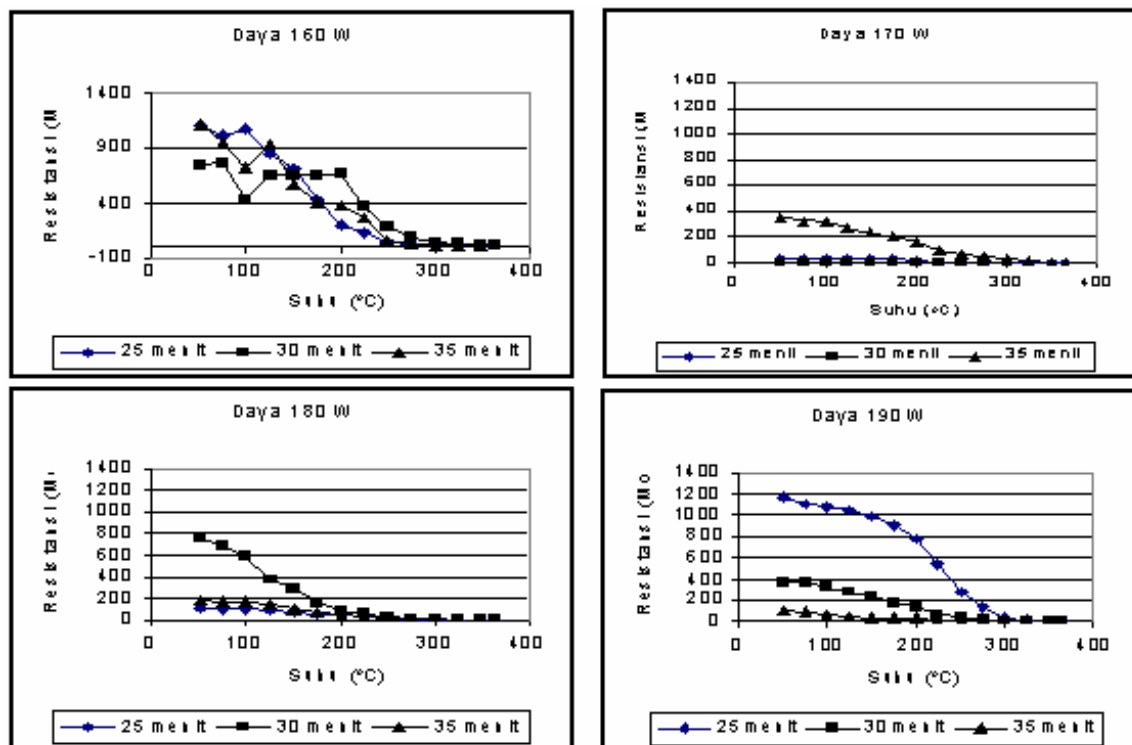
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian pengaruh variasi daya dan waktu *sputtering* terhadap karakteristik lapisan tipis SnO₂ yang terbentuk untuk sensor gas, maka dilakukan analisa yang meliputi : pengukuran resistansi, penentuan suhu operasi sensor, sensitivitas, dan waktu tanggap terhadap gas. Sedang analisis struktur kristal dengan *XRD* dan analisis struktur mikro serta analisis unsur atau komposisi kimia dengan *SEM-EDS* (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy*).

Pengaruh Suhu terhadap Resistansi Lapisan Tipis SnO₂

Pengukuran resistansi lapisan tipis SnO₂ terhadap suhu dari hasil percobaan variasi daya dan waktu *sputtering* ditunjukkan pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa dengan penambahan suhu pada bahan akan mengakibatkan terjadinya penurunan resistansi yang cukup signifikan, ini disebabkan adanya migrasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai resistansi terpengaruh oleh kenaikan suhu. Fenomena tersebut juga menunjukkan ciri bahwa bahan tersebut merupakan bahan semikonduktor.



Gambar 1. Hubungan suhu terhadap resistansi untuk daya sputtering 160, 170, 180 dan 190 watt.

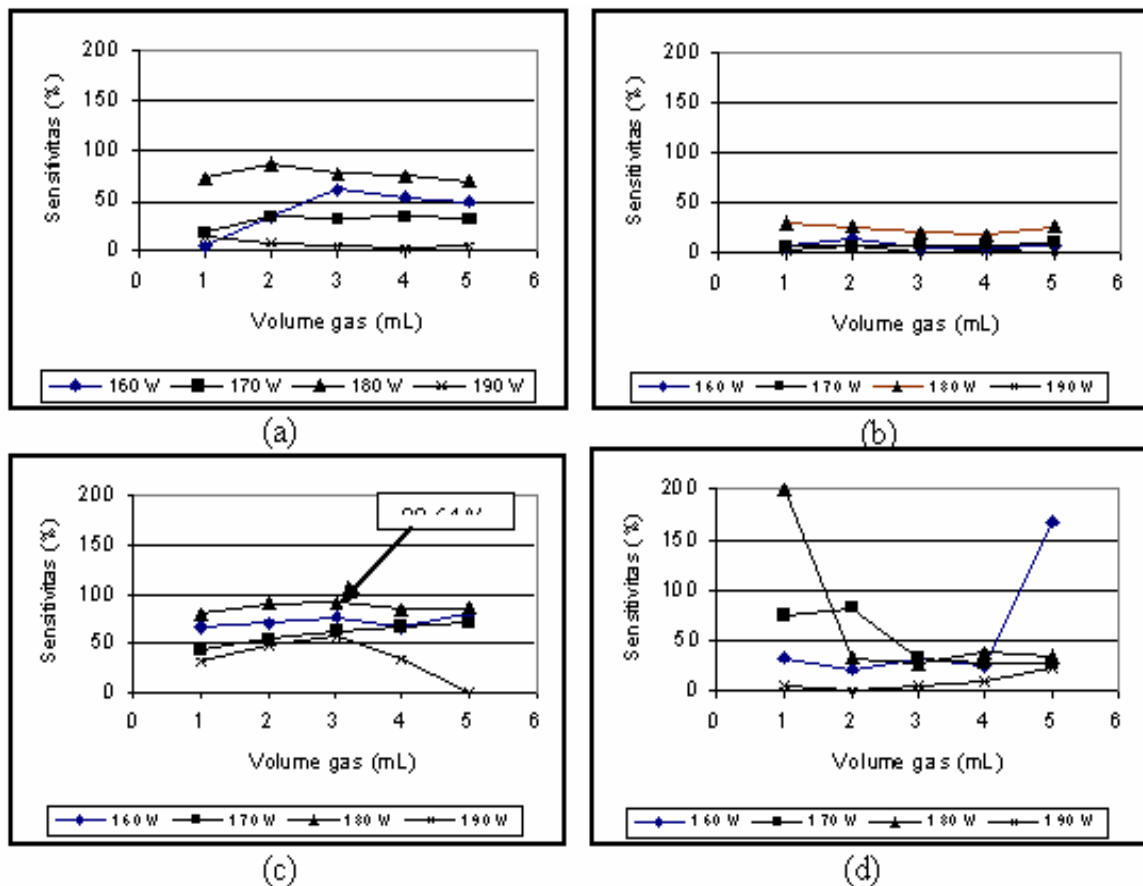
Bila diamati dari grafik resistansi terhadap suhu untuk daya 180 W lebih baik dibandingkan dengan yang lain, karena memiliki suhu operasi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan daya yang lain, yaitu pada $\pm 260^\circ\text{C}$. Semakin naik suhu bahan sensor, nilai resistansinya semakin turun, kemudian cenderung menjadi stabil. Kestabilan nilai resistansi pada suatu rentang suhu tertentu terjadi karena penambahan suhu sudah tidak berpengaruh terhadap penurunan resistansi, sehingga nilai resistansi suatu sensor akan berubah akibat pengaruh gas yang berinteraksi dengan permukaan sensor. Daerah inilah yang disebut sebagai daerah suhu operasi sensor. Namun demikian untuk menjamin bahwa nilai resistansi tidak berubah akibat perubahan suhu maka diambil suhu operasi sensor $\pm 300^\circ\text{C}$ yang merupakan suhu operasi sensor untuk acuan pada pengukuran selanjutnya.

Setelah mencapai nilai resistansi yang minimum, ada sampel yang nilai resistansinya mengalami kenaikan lagi (pada saat suhu 365°C)

setelah sebelumnya mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena pada suhu di atas suhu operasi, oksigen yang teradsorpsi akan menarik elektron dari bagian dalam butir sehingga seluruh butir akan berada pada daerah bebas/kosong elektron yang menyebabkan peningkatan resistivitas (Gaskov dan Romyantseva, 1999).

Pengaruh Daya dan Waktu Sputtering terhadap Sensitivitas Sensor

Pada pembuatan lapisan tipis khususnya untuk sensor gas, daya dan waktu sputtering merupakan parameter proses yang sangat berpengaruh terhadap sensitivitas sensor. Hal ini karena kedua parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap tingkat kerapatan, homogenitas dan tebal lapisan yang terbentuk pada permukaan substrat yang berfungsi sebagai sensor gas. Hasil pengukuran sensitivitas sebagai fungsi daya sputtering ditunjukkan pada Gambar 2.

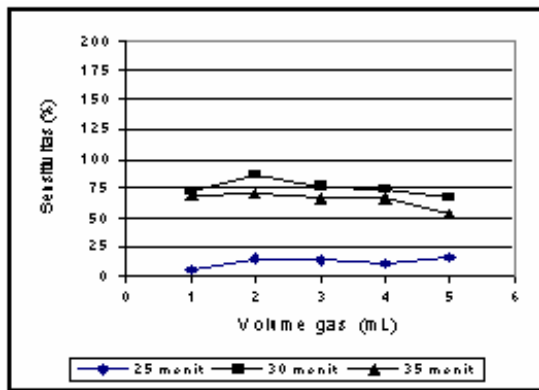


Gambar 2. Hubungan variasi daya sputtering terhadap sensitivitas untuk waktu sputtering 30 menit dengan gas uji : (a) C₂H₅OH; (b) NH₃; (c) CO; (d) HNO₃.

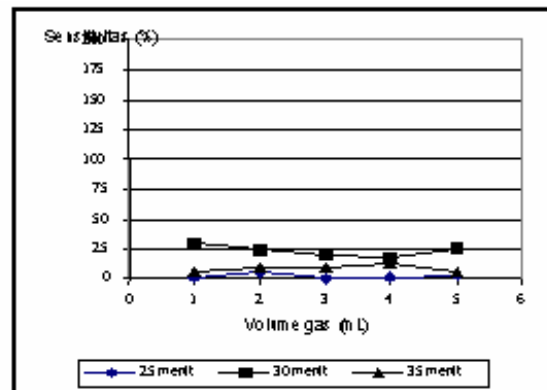
Dari keempat grafik pada Gambar 2 ditunjukkan sensitivitas untuk variasi daya yang digunakan dalam *sputtering*. Secara umum lapisan yang dideposisikan dengan daya 180 W mempunyai sensitivitas yang lebih tinggi bila dibanding dengan lapisan yang dideposisikan dengan daya yang lain (160 W, 170 W dan 190 W). Berarti lapisan tipis tersebut mempunyai daya serap terhadap gas yang lebih tinggi, ini disebabkan deposisi dengan daya *sputtering* 160 dan 170 watt, energi yang digunakan masih terlalu rendah hal ini menyebabkan atom-atom yang terdeposisi masih terlalu sedikit sehingga tingkat kerapatan dan homogenitas permukaan dari lapisan tipis yang terbentuk masih rendah sehingga nilai resistansinya masih tinggi, demikian juga untuk deposisi pada daya 190 W energi *sputtering*

terlalu tinggi, akibatnya atom-atom yang terdeposisi masuk lebih dalam dari permukaan substrat dan lapisan yang terbentuk menjadi tebal sehingga resistansinya menjadi besar dan daya serap terhadap gas juga rendah. Hal ini sejalan dengan pengukuran resistansi sebagai fungsi suhu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat untuk daya 180 W memiliki nilai resistansi rendah dan sensitivitas yang baik.

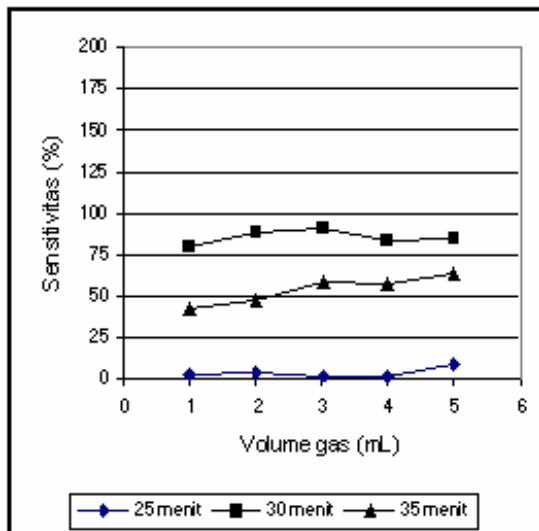
Setelah diperoleh daya *sputtering* sebesar 180 W yang merupakan daya optimum, maka untuk deposisi pada variasi waktu terhadap sensitivitas daya tersebut menjadi acuan. Adapun hasil pengukuran sensitivitas sebagai fungsi waktu *sputtering* untuk gas : C₂H₅OH; NH₃; CO dan HNO₃ ditunjukkan pada Gambar 3.



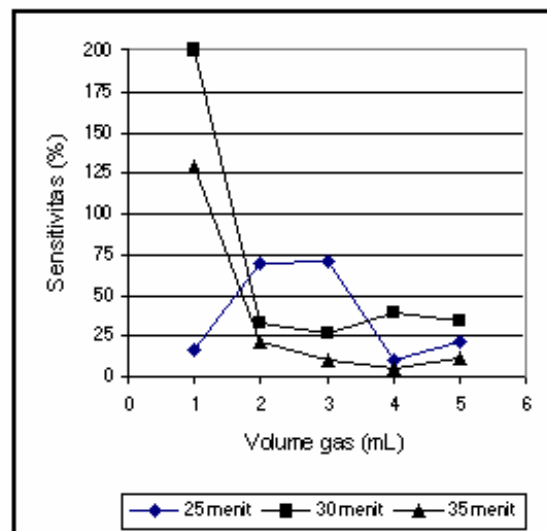
(a) C₂H₅OH



(b) NH₃



(c) CO



(d) HNO₃

Gambar 3. Hubungan variasi waktu sputtering untuk daya sputtering 180 W terhadap sensitivitas bahan sensor gas dengan gas uji : C₂H₅OH; NH₃; CO dan HNO₃.

Dari variasi waktu sputtering masing-masing : 25 menit, 30 menit dan 35 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 terlihat bahwa untuk waktu sputtering selama 30 menit mempunyai sensitivitas tertinggi, ini berarti waktu sputtering selama 30 telah menghasilkan lapisan tipis SnO₂ pada permukaan substrat mendekati perbandingan stokhiometri antara unsur Sn dengan O, yakni 28,21 (Sn) dan 69,94 (O), sehingga lapisan SnO₂ yang terbentuk pada permukaan mempunyai daya serap yang lebih tinggi bila dibanding dengan waktu deposisi sebesar 25 dan 35 menit. Jadi waktu deposisi optimum yang mempunyai pengaruh tertinggi terhadap sensitivitas sensor adalah 30 menit.

Waktu Tanggap Lapisan Tipis SnO₂

Waktu tanggap adalah waktu tercepat yang diperlukan oleh sensor terhadap kehadiran suatu gas. Hasil pengukuran waktu tanggap sensor gas dari bahan SnO₂ terhadap gas :C₂H₅OH; NH₃; CO dan HNO₃ ditunjukkan pada Gambar 4.

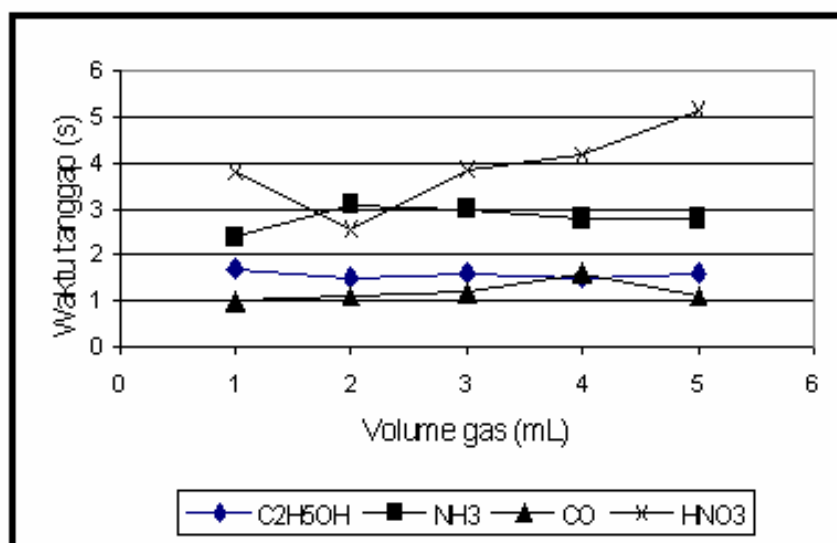
Berdasarkan hubungan waktu tanggap terhadap gas uji seperti ditunjukkan pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa sensor gas dari lapisan tipis SnO₂ memiliki waktu tanggap paling singkat terhadap gas CO, apabila dibandingkan dengan gas : C₂H₅OH; NH₃ dan HNO₃. Karena setiap bahan sensor memiliki waktu tanggap spesifik terhadap gas tertentu. Hal ini sesuai dengan parameter sensitivitas, bahwa SnO₂ lebih sensitif terhadap kehadiran gas CO (Tri Marji A, 2003).

Analisa Struktur Kristal Lapisan Tipis SnO₂

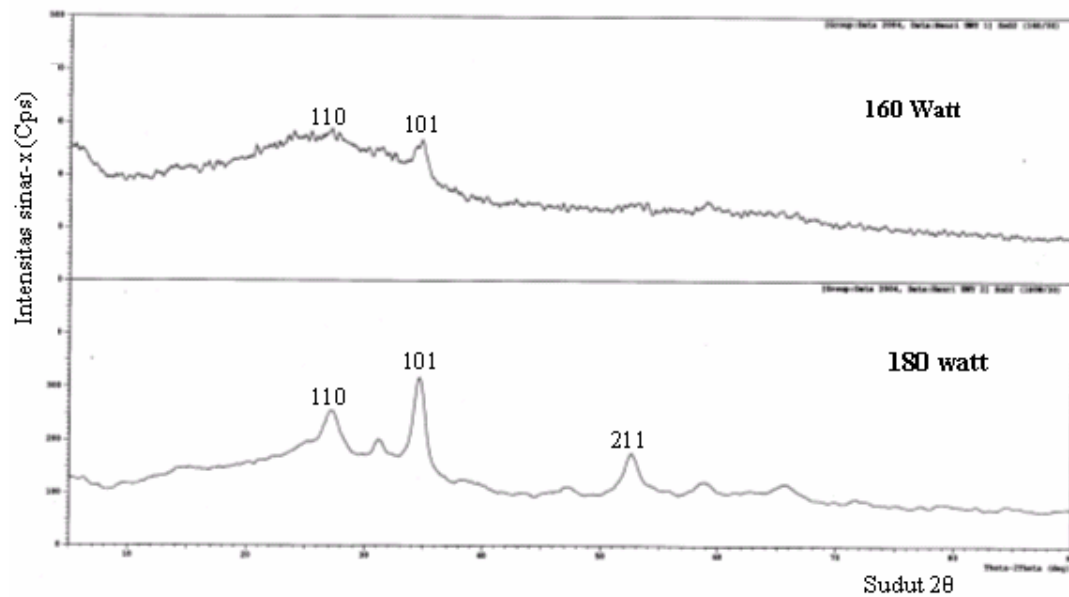
Untuk menentukan struktur kristal lapisan tipis SnO₂ didasarkan pada hasil analisis difraksi sinar-X (XRD) yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. adalah difraktogram dari sampel dengan parameter deposisi 160 W selama 30 menit (a) dan sampel dengan parameter deposisi 180 W selama 30 menit (b). Sampel a mewakili hasil deposisi yang paling jelek dan sampel b mewakili hasil deposisi yang paling baik berdasarkan analisis grafik perubahan resistansi terhadap suhu/penentuan suhu operasi, sensitivitas maupun berdasarkan parameter waktu tanggap.

Berdasarkan tabel JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) dan data sudut 2θ (atau dengan data d_{hkl}) dari hasil analisis XRD, dapat ditentukan orientasi kristal (hkl) yang didapatkan, yaitu (101), (111), (211). Kesesuaian data sudut 2θ tersebut menunjukkan bahwa sampel yang dianalisis tersebut adalah SnO₂. Pada difraktogram bawah, terdapat puncak pada sudut 2θ sekitar 30°, ini tidak ada kesesuaian dengan data JCPDS untuk SnO₂, kemungkinannya adalah puncak yang dibentuk oleh bahan substrat kaca yang terbuat dari silikon, seperti diuraikan pada pembahasan analisis komposisi kimia, bahwa unsur yang terdeposisi hanya Sn, O dan Si. Jika puncak yang muncul tersebut dilihat pada basis data XRD, nilai 2θ-nya adalah 31,1° dengan d_{hkl} sebesar 2,8734 Å. Berdasarkan data JCPDS untuk SiO₂, ternyata ada kesesuaian nilai d_{hkl} untuk sudut tersebut, sehingga dapat ditentukan kisi kristalnya yaitu (130).



Gambar 4. Hubungan waktu tanggap terhadap gas uji untuk daya sputtering 180 W dengan waktu sputtering 30 menit.



Gambar 5. Difraktogram analisis Difraksi Sinar-X Sampel dengan parameter deposisi 160 W selama 30 menit dan 180 W selama 30 menit.

Dari data XRD dan bidang difraksi (minimal 2 puncak), dapat ditentukan besarnya konstanta kisi kristal SnO₂ dengan menggunakan persamaan 2.14, yaitu $a = b = 4,65 \text{ \AA}$ dan $c = 3,12 \text{ \AA}$. Menurut data pada JCPDS, konstanta kisi untuk SnO₂ adalah $a = 4,7552 \text{ \AA}$ dan $c = 3,1992 \text{ \AA}$. Dari hasil perhitungan konstanta kisi kristal SnO₂ tersebut bila dibandingkan dengan data di JCPDS menunjukkan hasil pendeposisian mendekati data di JCPDS, ini menunjukkan bahwa pendeposisian yang dilakukan mendekati hasil pada JCPDS.

Hal lain yang dapat diamati pada difraktogram adalah, bahwa puncak-puncak yang terjadi untuk sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit menunjukkan intensitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan puncak-puncak untuk sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas struktur kristal dari sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit lebih jelek (puncak-puncak yang tumbuh belum sempurna) bila dibandingkan kualitas yang dimiliki sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit, bahkan pembentukan struktur kristalnya belum sempurna karena daya yang digunakan masih terlalu rendah.

Hasil Analisis SEM dan EDS

Sampel yang dianalisis dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) juga diambil dua. Pertama adalah sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit dan kedua adalah sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit.

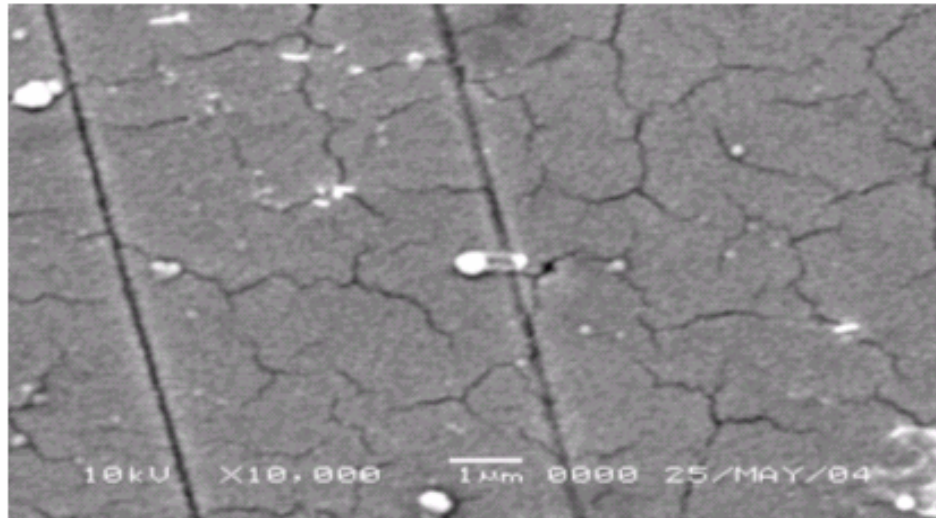
Struktur mikro Permukaan Lapisan Tipis SnO₂

Hasil pengamatan struktur mikro permukaan lapisan tipis SnO₂ menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

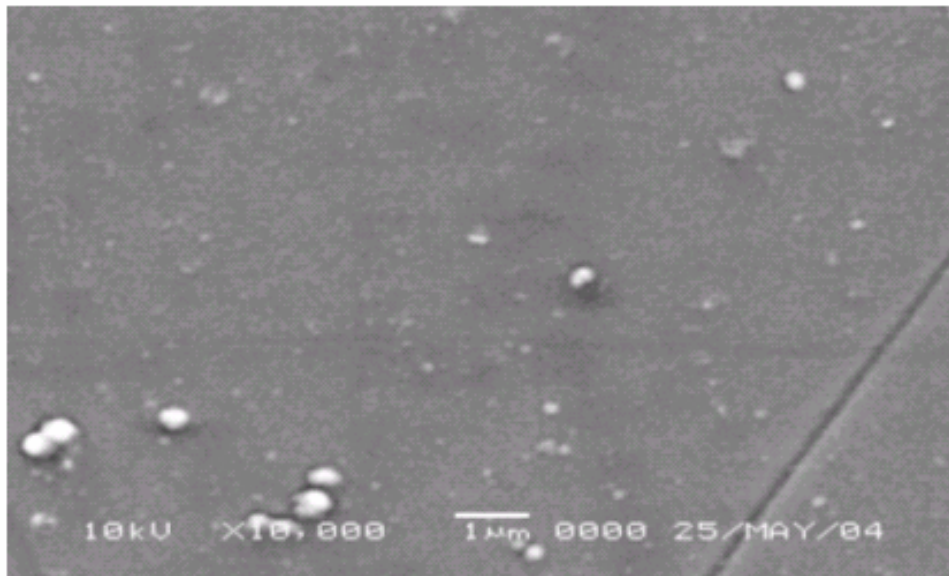
Dari hasil foto SEM pada Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa pada sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit, lapisan tipis yang terdideposisi lebih homogen bila dibandingkan dengan sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit, hal ini terjadi karena pada daya 160 W atom-atom yang tersputter masih terlalu sedikit dan tipis di permukaan substrat sehingga kurang merata/homogen dan lebih mudah retak oleh panas pada saat karakterisasi uji gas yang dilakukan berulang-ulang untuk masing-masing gas uji bila dibandingkan dengan sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit. Hal tersebut juga mendukung pembahasan-pembahasan sebelumnya, bahwa sampel yang dideposisi dengan daya 180 W memang memiliki ciri bahan sensor yang baik, sehingga struktur kristalnya baik, sensitivitas

dan waktu tanggapnya juga baik, didukung dengan homogenitas yang juga lebih baik dibandingkan

dengan sampel yang dideposisi dengan daya 160 W.



Gambar 6. Strukturmikro permukaan lapisan tipis SnO₂ yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit dengan pembesaran 10.000 kali.



Gambar 7. Strukturmikro permukaan lapisan tipis SnO₂ yang dideposisi pada daya 180 W selama 30 menit dengan pembesaran 10.000 kali.

Komposisi unsur Lapisan Tipis SnO₂

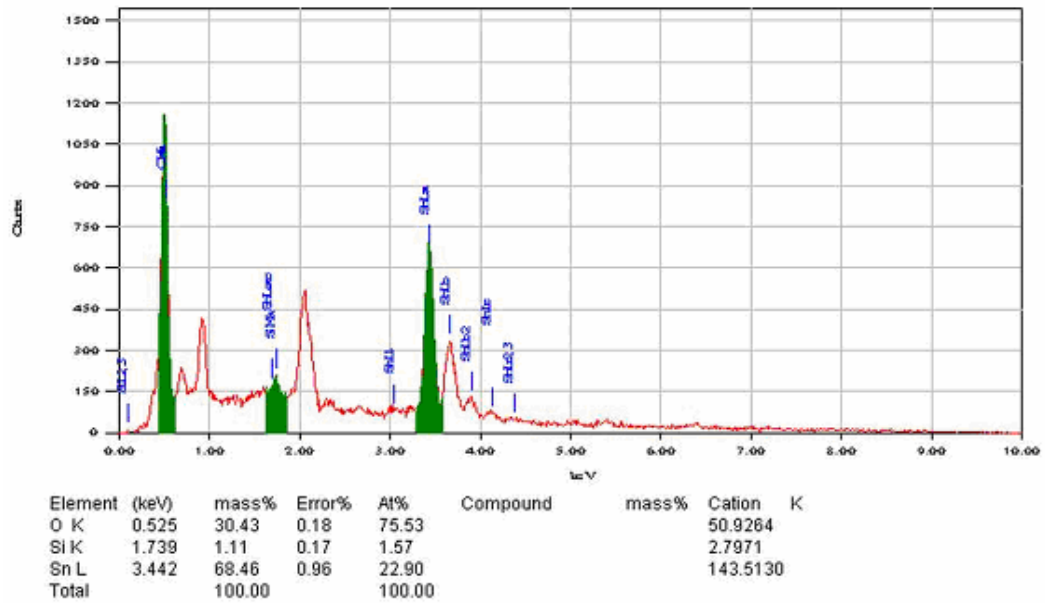
Penentuan komposisi unsur lapisan tipis SnO₂ hasil *sputtering* ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

Spektrum sinar-X karakteristik (sumbu X) menunjukkan unsur yang terkandung dan intensitas

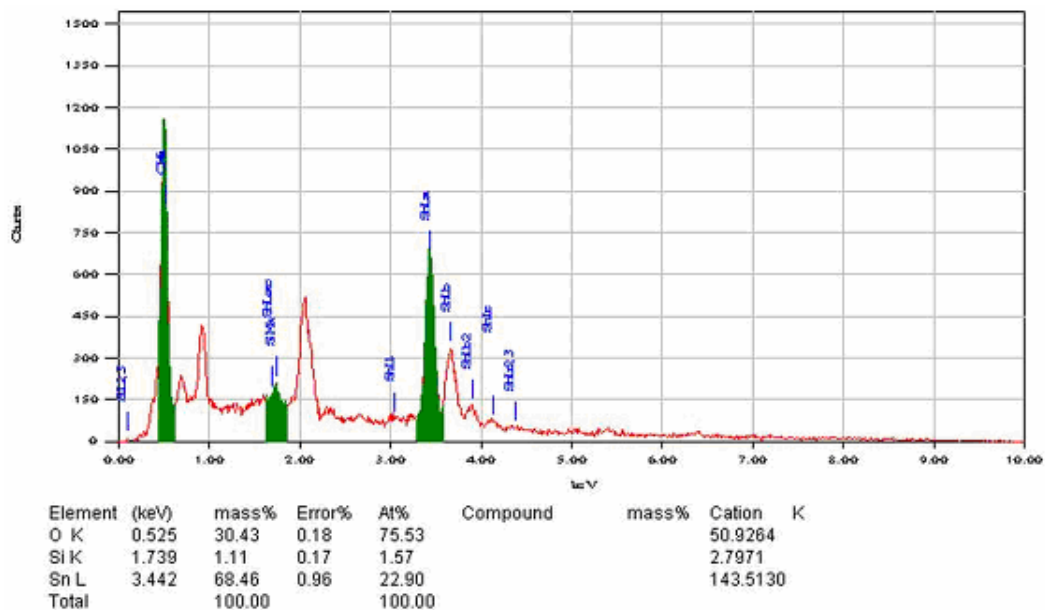
sinar-X karakteristik (sumbu Y) menunjukkan prosentase unsur.

Dari spektrum sinar-X tersebut dapat diketahui jumlah atom yang terkandung (at %) dalam

lapisan tipis pada permukaan substrat, kandungan unsur Sn dan O ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 8. Spektrum Sinar-X dari lapisan tipis SnO₂ yang dideposisi dengan daya 160 watt selama 30 menit.



Gambar 9. Spektrum Sinar-X dari lapisan tipis SnO₂ yang dideposisi dengan daya 180 watt selama 30 menit.

Tabel 1. Komposisi unsur lapisan tipis SnO₂.

No.	Sampel yang dideposisi dengan :	Jumlah atom (%)		
		Sn	O	Si

1.	Daya 160 W selama 30 menit	22,9	75,53	1,57
2.	Daya 180 W selama 30 menit	28,21	69,94	1,85

Unsur yang terkandung dalam kedua sampel terdapat unsur Sn ; O dan Si, hal ini menunjukkan bahwa pada lapisan tipis yang terbentuk pada permukaan substrat tidak terdapat pengotor. Hal ini juga berarti bahwa bahan target yang digunakan memiliki kemurnian yang tinggi. Sedang unsur Si berasal dari bahan silikon yang merupakan bahan dasar substrat. Perbandingan persentase Sn dan O pada sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit adalah 1:3,3, sedangkan yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit memiliki perbandingan 1:2,48. Sampel yang dideposisi dengan daya 180 W selama 30 menit memiliki perbandingan yang lebih baik bila dibandingkan dengan sampel yang dideposisi dengan daya 160 W selama 30 menit, karena lebih mendekati 1 : 2 (perbandingan stoikiometri untuk SnO₂). Hasil ini sejalan dengan analisis sensitivitas dan waktu tanggap, yaitu sampel dengan parameter deposisi daya sebesar 180 W dan waktu *sputtering* 30 menit lebih baik dibandingkan dengan sampel dengan parameter deposisi daya sebesar 160 W dan waktu *sputtering* 30 menit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan pengaruh variasi daya dan waktu *sputtering* terhadap karakteristik lapisan tipis SnO₂ yang terbentuk untuk bahan sensor gas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat lapisan tipis SnO₂ dengan teknik RF *sputtering* yang dapat digunakan sebagai bahan sensor gas dengan parameter *sputtering* optimum pada daya 180 watt dan waktu 30 menit.
2. Sensor gas yang terbuat dari bahan SnO₂ memiliki suhu operasi 300 °C dengan sensitivitas terbaik terhadap gas CO sebesar 88.64 % dan waktu tanggap sebesar 1 detik.
3. Hasil analisa struktur kristal dengan menggunakan XRD diperoleh bidang (*hkl*) yang nampak adalah (110), (101), (211) dengan parameter kisi a= 4,65 Å dan c= 3,12 Å. Sedang dari analisa unsur menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) diperoleh kandungan unsur masing-masing sebesar 28,21 (Sn) dan 69,94 (O).

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Giri Slamet, J. Karmadi, Sukosrono dan seluruh staf kelompok Pengembangan Aplikasi Akselerator atas segala bantuan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BARASEL, D., GELLERT, W., SARHOLZ, SCHARNER, P., *Influence of Catalytic Activity on Semiconducting Metal Oxide Senso, Sensor and Actuators*, 6.35-50, . 1983.
2. SUDJATMOKO, *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan, Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*, P3TM - BATAN Yogyakarta: , 2003.
3. TRI MARDJI A., *Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan, Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*, P3TM - BATAN Yogyakarta: , 2003.
4. WASA K DAN HAYAKAWA S., *Handbook of Sputter Deposition Tecnology: Principles, Technology and Aplication*. Noyes Publication, New Jersey, 1992.
5. TAMAKI, J., XU, C., MIURIA, N., YAMAZOE, N., *Grain Size Effect on Gas Sensitivity of Porous SnO₂ Based Elements, Sensor and Actuators*, B, 147-155, 1991.
6. GAS'KOV. A. M, RUMYANTSEVA. M. N. , *Materials for Solid-State Gas Sensors, Inorganik Materials*". Vol 36, No 3. 1999. 293-301.

TANYA JAWAB

Jaswadi

- Jenis bahan sensor apa saja yang dapat digunakan pada penelitian ini?
- Ketelitian sensor selain pada penelitian ini apa masih ada variabel lain yang berpengaruh.

Sayono

- Jenis sensor yang dapat digunakan untuk penelitian pembuatan sensor gas adalah bahan oksida logam seperti TiO₂, ZnO & CeO₂.

- *Ketelitian sensor sangat ditentukan pada proses pembuatannya, adapun parameter proses yang berpengaruh terhadap ketelitian sensor selain daya dan waktu deposisi adalah kevakuman, bahan yang dideposisi, suhu sputtering dan jarak elektroda (anoda dan katoda) sputtering.*

Jumari

- Sensor gas yang telah dibuat paling peka terhadap gas apa?
- Metode apa selain sputtering yang dapat digunakan untuk membuat lapisan tipis?

Sayono

- *Sensor gas yang telah dibuat paling peka/sensitiv terhadap gas CO dengan nilai sensitivitas 88,64%.*
- *Metode untuk membuat lapisan tipis selain dengan teknik sputtering adalah teknik CVD (Chemical Vapor Deposition), MOVCD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) dan ion planting.*